



CIRAD-Forêt

IDEFOR

Département Forestier

Bingerville - ABIDJAN - Anguédédou
République de Côte d'Ivoire

FORMATION A LA VALORISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE

En collaboration avec le

**PÔLE REGIONAL AFRICAIN
DE THERMOCHIMIE**



Ademe



IEPF



LES BESOINS DES AGRO-INDUSTRIES DES P.E.D.

Philippe Girard, Louis Vergnet

Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement,
Montpellier, France.

Dans leur grande majorité, les secteurs agro-industriels et les industries du bois sont susceptibles d'autosatisfaire leurs besoins énergétiques à partir de leurs déchets. Pour s'en convaincre, il suffit de constater que depuis toujours les agro-industries les plus performantes utilisent avec succès, leurs déchets souvent même pour assurer outre la couverture des besoins industriels, celle des besoins en énergie des villages associés et parfois disposer d'un excédent susceptible d'être commercialisé. A titre d'exemple, l'histogramme, ci-dessous, compare la demande en énergie conventionnelle de l'industrie des pays de l'ASEAN à l'équivalent du contenu énergétique de l'ensemble des déchets des principales agro-industries (riz, sucre, noix de coco, palmier à huile, bois) de ces pays. On constate que le potentiel énergétique des déchets couvre la plupart du temps la demande de tout le secteur industriel.

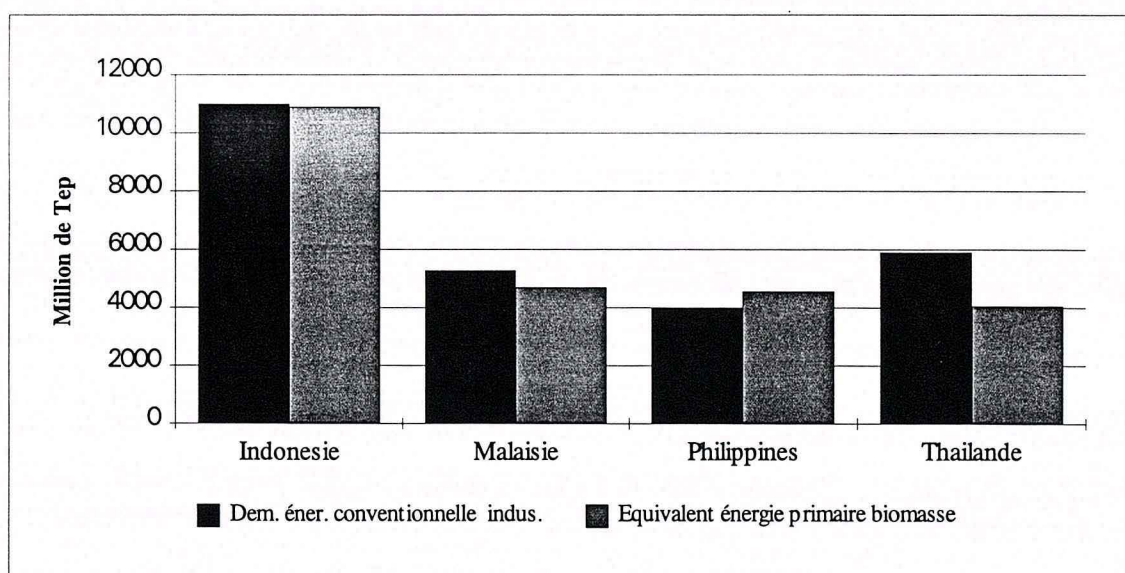


Fig. 1 : Demande en énergie conventionnelle de l'ensemble de l'industrie comparée à l'équivalent énergétique des déchets générés par les agroindustrie des principaux pays de l'ASEAN.

1 - PRODUCTION D'ENERGIE DANS LES SCIERIES

Le sciage correspond à l'opération de première transformation du bois la plus développée. Contrairement aux autres transformations il relève d'unités de taille extrêmement variable, dont la capacité annuelle peut varier de quelques milliers de m³ grume à plus de 100 000 m³ grume.

Comme les autres industries du bois, les scieries génèrent une grande quantité de résidus très variés quant à leurs caractéristiques physico-chimiques. Certaines scieries sont intégrées à des complexes regroupant plusieurs transformations et doivent de ce fait être considérées dans le tout auquel elles appartiennent.

1.1 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

La grande variété de taille des scieries considérées et leur isolement se traduisent par une demande énergétique limitée et une large plage de puissances installées (100 à plus de 600 ou 700 kW électriques) pour l'usinage seul.

La quantité de résidus dépend de plusieurs facteurs : la taille et la qualité des grumes sciées (matière première), les dimensions et la qualité des produits finis recherchés (existence ou non d'un marché local), l'âge, la qualité et l'adaptation du matériel, etc... Les rendements varient en général de 35 à 45 % dans le contexte tropical (marché local faible). Cela correspond à 55-65 % de "déchets" à partir du bois entrée sur parc scierie. A titre indicatif ces déchets se répartissent en moyenne comme suit :

- Volume abandonné sur parc usine	2 à 4 %
- Volume de l'écorce	4 à 6 %
- Volume des sciures	7 à 8 %
- Volume des dosses	18 à 20 %
- Volume des délignures	15 à 18 %
- Volume des rognures	4 à 5 %

La consommation électrique moyenne par m³ de produit fini oscille entre 35 et 45 kWh. Notons que dans tous les cas, la quantité d'énergie disponible dans les résidus est très largement (4 à 5 fois) supérieure à la demande électrique liée au sciage.

Pendant longtemps, et c'est encore bien souvent le cas, les scieurs se contentaient de produire des débits humides et leurs besoins énergétiques étaient essentiellement limités à des besoins en force motrice. Ils sèchent aujourd'hui de plus en plus souvent leurs produits finis. Le séchage du bois répond en effet à plusieurs nécessités :

- fournir du bois de qualité standardisée,
- diminuer les frais financiers liés aux immobilisations qu'entraîne le séchage naturel,
- augmenter de la valeur ajoutée sur place.

Cette option se traduit par l'émergence d'un besoin en chaleur, très variable selon les produits à sécher (essence, épaisseur, humidité initiale et finale...) que l'on peut considérer dans la fourchette de 200 à 400 kWh thermique par m³ séché.

La cogénération de chaleur et d'électricité peut dès lors être envisagée. Elle permet une bien meilleure valorisation de l'énergie contenue dans les déchets. Les voies vapeur (moteurs alternatifs ou turbines) l'autorisent aisément au plan technique et cela s'avère aussi envisageable par la mise en oeuvre d'un brûleur en parallèle à un groupe gazo-électrogène. Ce type de cogénération autorise aussi un taux d'utilisation des installations énergétiques bien plus favorable

qui leur permet souvent de trouver une rentabilité économique intéressante. Cela est rarement le cas lorsque la demande énergétique est circonscrite à de la force motrice seule et a fortiori 8 h/jour car la puissance électrique moyenne appelée est inférieure à la moitié de la puissance installée.

1.2 - LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA FOURNITURE D'ENERGIE

On distingue trois types d'équipements énergétiques aliant chaleur et force motrice qui soient adaptés aux scieries :

- les ensembles chaudière/moteurs à vapeur qui couvrent une gamme de puissance électrique allant de 100-300 kW par unité installée (jusqu'à 600 kW par couplage),
- les ensembles gazo-électrogènes qui couvrent la gamme 30 à 200 kW,
- les ensembles chaudière haute pression/turbo alternateur à vapeur, performant à partir de 500 kW et plus.

Rappelons que ces équipements énergétiques s'avèrent d'autant plus rentables qu'ils fonctionnent quotidiennement plus longtemps (16 h ou plus par jour) et qu'ils sont conçus en cogénération.

Le tableau 1 ci-après illustre un exemple de réalisation du CIRAD-Forêt en Asie du Sud-Est.

	Caractéristiques
Capacité scierie	7 000 m ³ /mois
Capacité séchoir	360 m ³
Déchets disponibles	2 400 t/mois
Caractéristiques de l'installation	
1 chaudière vapeur surchauffée	16 t/h - 22 bars
1 turbine à condensation	900 kW - 12 t/h - 6 bars
1 turbine à contrepression	600 kW - 16 t/h - 22 bars
système d'alimentation en déchets massifs	automatique
système d'alimentation en déchets fins	automatique
Economie réalisée	2 200 t de diesel/an 1 200 t de fuel lourd/an
Coût total de l'installation	9 MF hors bâtiment et génie civil
Temps de retour	2,2 ans
Taux Interne de Rentabilité	53 %

Tableau 1 : Caractéristiques d'une installation de cogénération pour une scierie

2 - PRODUCTION D'ENERGIE DANS LES GRANDS COMPLEXES ET DANS L'INDUSTRIE DES PATES ET PAPIERS

L'industrie du bois génère une grande quantité de résidus très variés quant à leurs caractéristiques physico-chimiques. Ils peuvent trouver des utilisations diverses comme matière première pour une autre transformation ou comme combustibles. Les industries peuvent être indépendantes, c'est à dire ne réaliser qu'une seule transformation ou, au contraire, être regroupées en complexe. Cette dernière formule permet en général, non seulement une meilleure valorisation de la matière première mais aussi un regroupement des postes communs : centrale énergétique, entretien, gestion,.... La figure 2 qui suit donne une idée générale des possibilités de transformations des grumes.

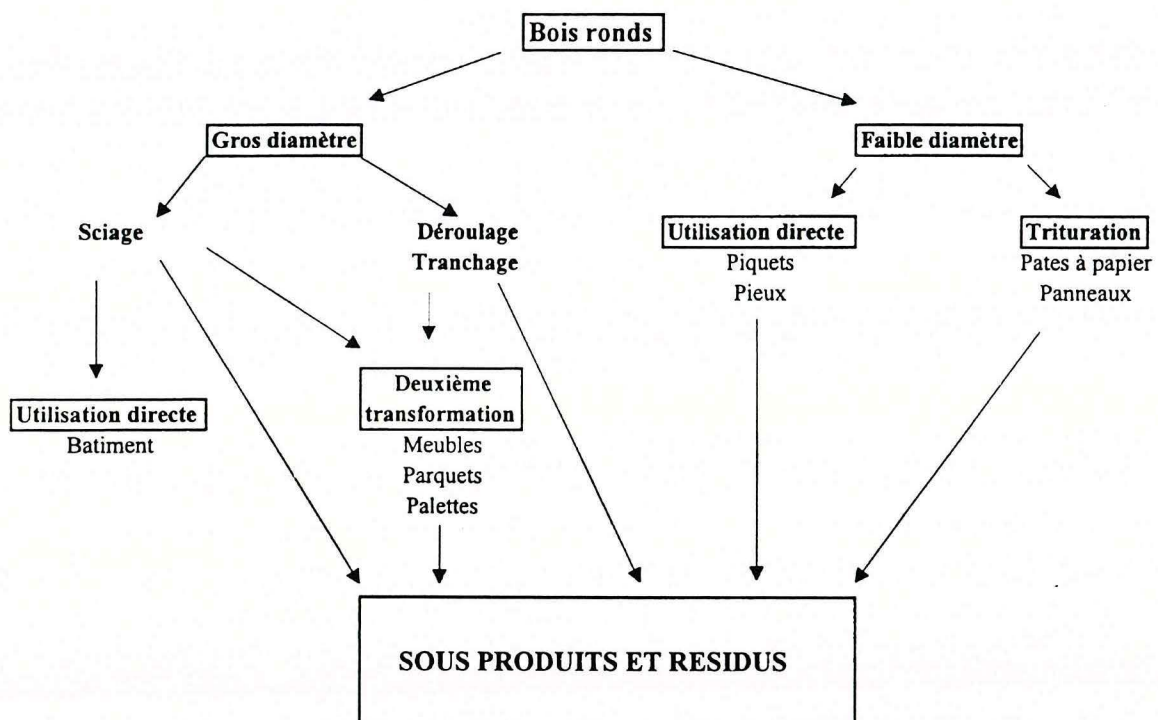


Figure 2 : Schéma des principales voies de valorisation de la production forestière

2.1 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Pour mieux situer la complexité de la valorisation des résidus dans l'industrie du bois et la spécificité des situations, quelques remarques s'imposent :

- les résidus générés par la transformation industrielle du bois sont dépendants d'un grand nombre de facteurs. Parmi les plus importants, on peut retenir : l'essence, le diamètre des grumes et leur qualité, le type de produit fabriqué ; le niveau technologique de l'unité de transformation,

- les besoins énergétiques des unités de transformations industrielles du bois sont aussi très variables selon les cas : (besoins en chaleur, pour le séchage, l'étuvage, le chauffage des presses ou des locaux ; besoins en électricité pour le fonctionnement de l'unité). Ils sont très étroitement liés (cf. tableau 2) : à la technologie de transformation, au type de produit fabriqué, à l'essence utilisée, à la capacité de l'unité et à son niveau d'intégration,
- les caractéristiques physico-chimiques des résidus peuvent être définies par deux paramètres essentiels quant à leur utilisation énergétique : la granulométrie et l'humidité.

Type de transformation	Energie thermique (GJ)	Energie électrique (kWh)
Scierie (m ³)	-	30 à 90 ⁽¹⁾ 20 à 40 ⁽²⁾
Séchage du bois (m ³)	0,3 à 1,6 ⁽¹⁾ 0,175 ⁽²⁾	- -
Contreplaqué (m ³)	5,2 à 5,7 ⁽¹⁾ 0,2 à 0,3 ⁽²⁾	200 à 300 ⁽¹⁾ 100 ⁽²⁾
Panneau (m ³)		
Particule	2,6	324
Fibre isolant	2,1	509
Fibre dur	10,9	3078
M.D.F	4,7	873
Pâte mécanique (t)	13,6 à 17,7	1700 à 2200
Pâte semi-chimique (t)	16,1 à 22,5	550 à 715
Pâte chimique (t)	19,3 à 27,3	880 à 1210

⁽¹⁾ Levelton - 1982 ⁽²⁾ Bandung - 1991

Tableau 2 : Consommation énergétique indicative de quelques types de transformation du bois

Le tableau 3 donne d'une manière schématique les principales caractéristiques des résidus ainsi que l'ordre de grandeur de leur importance dans les industries de première et seconde transformation hors scierie.

Les résidus disponibles pour la production d'énergie sont très variables d'une situation à l'autre. Le flux des matières ligneuses doit être étudié soigneusement pour établir un bilan réaliste des disponibilités selon les conditions locales. Les principaux types de complexes sont donnés au tableau 4, avec le type de résidus généralement disponible pour la transformation énergétique.

Type de transformation	Rendement moyen (% du vol. initial)	Type de résidus	(% vol. initial)	Caracteristiques			
				Granulométrie		Humidité	
				Grossière	Fine	Elevée	Faible
Déroutage et contreplaqué	40 à 50	Ecorce	10 à 12	x		x	
		Bout de grume	4 à 5	x		x	
		Noyau de déroulage	10 à 12	x		x	
		Placages verts	8 à 10	x		x	
		Placage sec	8 à 10	x			x
		Poussière, ponçage	4 à 6		x		x
		Délicature	4	x			x
Tranchage	40	Ecorce	10 à 12	x		x	
		Eboutage	4 à 5	x		x	
		Préparation bloc de trancheet noyau	15 à 20	x		x	
		Placage vert	8 à 10	x		x	
		Placage sec	8 à 10	x			x
Seconde transformation	(% vol. des avivés)		(% vol. résidus)				
Meubles massifs	50 à 60	Poussière ponçage	30 à 70		x		x
Menuiseries	80	Sciure et copeaux	45 à 55		x		x
Palette	80	Eboutage des débits					x
Parquet (vol.grume)	40		40 à 60	x			
Panneaux de particules	90	Poussières ponçage	5		x		x
		Délicatures	3 à 5	x			x

Tableau 3 : Principales caractéristiques des résidus des industries du bois

Type de complexe	Résidus disponibles	Bilan énergétique sur déchets
Scierie + contreplaqué	Tous	Excédent de combustibles par rapport aux besoins (électrique et thermique)
Scierie + 2e transformation (meubles, boisellerie,...)	Tous	Excédent de combustibles par rapport aux besoins (électrique et thermique)
Scierie + contreplaqué + panneaux (particules, MDF,...) ou contreplaqué + panneaux	Ecorce Sciure Poussières ponçage, Délicatures (parfois)	Déficit. Seuls les besoins en énergie thermique peuvent être couverts

Tableau 4 : Résidus disponibles à des fins énergétiques selon le type de complexe

2.2 - LES EQUIPEMENTS ENERGETIQUES ADAPTES

Les équipements utilisables pour la valorisation énergétique sont de plusieurs types :

- a) chaudière classique produisant de la vapeur à basse pression pour les besoins thermiques: séchage (bois, placage), étuvage (contreplaqué, tranchage), chauffage des presses, etc... . La chaudière basse pression est souvent utilisée dans les unités de faible capacité, dont les besoins énergétiques sont insuffisants pour justifier un équipement incluant un turbo alternateur,
- b) chaudière produisant de la vapeur haute pression, couplée à un turbo alternateur produisant de l'électricité et de la vapeur pour les procédés technologiques. Le turbo-alternateur n'est employé que dans les unités de forte capacité (besoins électriques de l'ordre du MW),
- c) le brûleur de poussière est surtout utilisé dans les unités de panneaux qui disposent d'une grande quantité de poussière de ponçage.

Il convient de signaler que l'utilisation des résidus comme matériaux prime très souvent l'utilisation énergétique. Dès lors, seuls les besoins en énergie thermique peuvent être satisfaits (en tout ou en partie). Dans les complexes industriels, notamment en Europe, la cogénération est peu répandue, sauf si l'usine a la possibilité de couvrir ses besoins par l'achat de résidus à d'autres entreprises. Par contre, dans les pays en développement ou en voie d'industrialisation, les complexes industriels évoluent le plus souvent vers la cogénération pour plusieurs raisons : une plus grande disponibilité en résidus, l'absence du marché des excédents, la nécessité d'assurer une autonomie énergétique (coût et surtout, irrégularité dans la fourniture d'énergie électrique).

3 - PRODUCTION D'ENERGIE DANS LES SUCRERIES

La production mondiale de sucre est proche de 90 MT et est assurée à plus de 60 % par la canne à sucre, le reste étant tiré de la betterave sucrière. Selon les régions, la récolte s'étale sur une période plus ou moins longue allant de 4 à 12 mois, avec une moyenne de 6 à 8 mois, selon les courbes de maturation qui dépendent du climat. Si l'on admet qu'en moyenne on obtient par tonne de canne de l'ordre de 100 kg de sucre et 300 kg de bagasse, la quantité de bagasse (résidu du puisage) disponible au niveau mondial est voisine de 180 MT. C'est dire toute l'importance de cette ressource.

3.1 - CARACTERISTIQUES GENERALES

La bagasse humide est constituée, en moyenne, de :

- 45 à 50 % d'eau
- 45 % de matières lignocellulosiques
- 2 à 3 % de matières solubles
- 2 à 4 % de matières minérales

La masse volumique de la bagasse est de l'ordre de :

- 70 à 95 kg/m³ en vrac
- 200 kg/m³ en vrac, tassée
- 150 kg/m³ broyée
- 330 à 600 kg/m³ en balles (variable selon la technique de mise en balles)

La couverture des besoins énergétiques des sucreries à base canne est toujours intégralement assurée par la bagasse. En général, dans les unités anciennes, peu d'attention était portée au bilan énergétique compte tenu du fait que les unités étaient largement autosuffisantes et qu'il fallait de toute façon se débarrasser de la bagasse. Au contraire, les unités modernes tentent d'obtenir un rendement maximum pour utiliser l'excédent de bagasse à la production d'électricité destinée au réseau. Actuellement, la tendance est de transformer les sucreries de canne en de véritables centrales électriques, pouvant produire de l'électricité pour le réseau, même hors saison, souvent avec le recours à d'autres combustibles. On peut admettre des excédents de l'ordre de :

- unité ancienne : 10 % d'excédents
- unité normale : 25 à 25 %
- unité moderne : 40 à 50 %

A cause de sa forte humidité et de sa teneur résiduelle en sucre, la bagasse se détériore rapidement sous l'effet des fermentations, qui, en quelques jours, conduisent à des températures de l'ordre de 60 à 70 °C à l'intérieur des piles de stockage. Au cours du temps apparaissent également des micro-organismes cellulolitiques qui décomposent la cellulose. A l'air libre, les piles de bagasse s'humidifient sous l'effet de la pluie.

Dans le cas d'une utilisation énergétique ou pour l'industrie des panneaux, le stockage des excédents de bagasse se fait en balles stockées à l'air libre, sous protection ou non. La mise en balles ne requiert qu'un minimum d'équipement et permet de réduire l'action des micro-organismes et les pertes de masse, de réduire les surfaces nécessaires au stockage, de faciliter la manutention et le transport, d'améliorer le pouvoir calorifique.

L'abondance de bagasse produite et les problèmes posés par l'élimination des excédents ont conduit les compagnies d'ingénierie sucrière à dimensionner les installations de telle manière qu'elles satisfassent les besoins de la sucrerie sans laisser d'excédent. C'est à dire que les consommations spécifiques que l'on peut constater sur le terrain sont loin d'être représentatives d'une situation optimum sur le plan énergétique.

Dans une sucrerie conventionnelle, l'essentiel de la vapeur passe au travers de turbines, soit pour la production d'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement des moulins de broyage de la canne, soit pour la production d'électricité. La vapeur d'extraction (± 1 bar) est utilisée dans le processus, entre autre au niveau des évaporateurs.

A l'exception de contraintes directement liées aux caractéristiques variétales de la canne à sucre, la consommation de vapeur varie en fonction de nombreux facteurs dont :

- la quantité et la qualité de l'eau utilisée pour l'imbibition,
- la récupération ou non de la vapeur au niveau des évaporateurs et de la station de cuisson,
- le recyclage des jus et des mélasses,
- l'humidité de la bagasse, qui va de surcroît avoir une influence sur les performances de la chaudière.

Dans des conditions normales d'utilisation, une sucrerie type aura en fonction de ces performances une consommation de vapeur variant de 470kg à 660kg par tonne de canne (PATURAU, 1982) (EDUFI, 1993) avec une consommation électrique d'environ 20 kWh/tonne de canne. Cependant dans les unités modernes et performantes, l'usine est entièrement électrifiée et la consommation de vapeur peut descendre jusqu'à 380 kg/tonne de canne avec une consommation électrique d'environ 25 kWh/t. C'est le cas de l'usine de Beaufonds dans l'île de la Réunion dont les principales caractéristiques sont données dans le chapitre suivant.

3.2 - LES SOLUTIONS ENERGETIQUES ADAPTEES

Les sucreries conventionnelles sont équipées d'ensemble chaudière/turbine, parfois moteur à vapeur pour les plus anciennes, à relativement faible pression de vapeur : 10 à 25 bars . Les systèmes sont quelques fois si peu performants que le bois doit être utilisé en complément.

Les installations nouvelles sont conçues sur le même principe, mais avec des économies d'énergie réalisées au niveau du procédé, pour limiter la consommation de vapeur et des chaudières turbines travaillant à haute pression et haute température. Les sucreries sont alors excédentaires en électricité ce qui permet la revente sur le réseau de cet excédent. L'utilisation de chaudière dual fuel, c'est à dire bio-combustible ; charbon/bagasse permet de palier au problème de la saisonnalité et de produire toute l'année. Toutefois, l'intérêt d'utiliser des chaudières performantes n'existe que si l'on utilise l'excédent de bagasse ou si l'on vend l'excédent d'énergie.

Le tableau 5 ci-après présente le cas de l'unité de la sucrerie de Bois Rouge à l'île de la Réunion.

	Bagasse (1/4)	Charbon (3/4)
Combustible:		
Pouvoir calorifique	7 700 kJ/kg	25 000 kJ/kg
Humidité	49 %	-
Consommation annuelle	210 000 t	105 000 t
Option technique :		
. Caractéristiques de l'installation :		
- chaudière (2 unités) :		
pression de vapeur		80 bars
température de vapeur		520°C
capacité		130 t/h
rendement		87 %
- génération d'électricité (2 unités)		
ensemble turbine/générateur		30 MW
voltage		15 kV
. Performances :		
- électricité/t de canne		167 kWh
- électricité vendue/ t de canne		136 kWh
- consommation de vapeur /t de canne		450 kg
- électricité totale générée		280 000 MWh
- vente totale d'électricité		256 000 MWh
Coût et bénéfice :		
. Investissement total		97 MU US\$ 1 600 US\$/kW
. Génération d'électricité		
pendant saison de récolte (3 800 h)		62 MW export 51 MW
hors saison de récolte		62 MW export 56 MW
. Vapeur pour le process		100 t/h (3 bars)

Tableau 5 : Génération d'électricité par la bagasse - Unité de Bois Rouge (Ile de la Réunion)

4 - PRODUCTION D'ENERGIE DANS LES HUILLERIES D'ARACHIDE

L'arachide est essentiellement cultivée pour la production d'huile. Les coques d'arachides, souvent disponibles en grande quantité dans les zones de production, sont quelquefois utilisées pour l'amendement des sols ou comme litière dans l'élevage de volailles. Elles sont également utilisées comme source d'énergie. La quantité de coque est en général de l'ordre de 30 % par rapport au poids du produit brut.

4.1 -CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Au Sénégal, la production d'arachide donne environ 140 000 t/an de coques dont 130 000 servent à la production d'électricité et/ou de la chaleur pour les huileries. On estime qu'entre 5 et 10 % de la production totale d'électricité est assurée par des sous-produits végétaux des industries huilière et sucrière. Toutes les huileries sont ainsi auto-productrices et complètent autonomes par rapport au réseau de distribution public. Certaines unités sont même excédentaires et cèdent leur excédent à la Société Nationale d'Electricité (SENELEC). Plus de 90 % de l'électricité consommée par ces branches est obtenue à partir de résidus végétaux. Les caractéristiques moyennes des coques sont les suivantes :

- Humidité : 6,7 %
- Matière minérale : 81,8 %
- Masse volumique en vrac : 80 kg/m³
- Pouvoir calorifique : 15,1 MJ/kg

4.2 - LES EQUIPEMENTS ENERGETIQUES ADAPTES

Le ratio électricité chaleur de l'huilerie est très favorable aux installations de cogénération ce qui explique que la quasi totalité des huileries soient équipées de chaudière-turbine à contre pression. Un exemple de réalisation est donné dans le tableau 6 :

	Caractéristiques		
. Capacité nominale de l'huilerie Récolte d'arachide Productions principales : <ul style="list-style-type: none"> - Huile d'arachide brute - Tourteaux - Vinaigre d'alcool - Eau de javel - Pâte dentifrice Volume de déchets disponibles	200 000 t/an 700 t/j 5 mois 180 t/j 220 t/j 13 500 l/j 13 500 l/j 70 t/an 60 000 t/an		
. Capacité installée et caractéristiques <ul style="list-style-type: none"> - 2 chaudières tube d'eau - 2 chaudières tubes fumées - 1 turbo-alternateur - 3 groupes diesel 	22 t/h 8 t/h 10 t/h 4,4 MW 1,1 kW	27 bars 18 bars 15 bars 4 kW	380 °C 100 kW
. Consommation spécifique <ul style="list-style-type: none"> - Electricité - Vapeur 	1,38 kg coques/kWh 212 kg/t à 27 bars - 380 °C		

Tableau 6 : Cogénération d'électricité en huilerie d'arachide, cas d'une huilerie sénégalaise

5 - PRODUCTION D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE DU CAOUTCHOUC

5.1 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

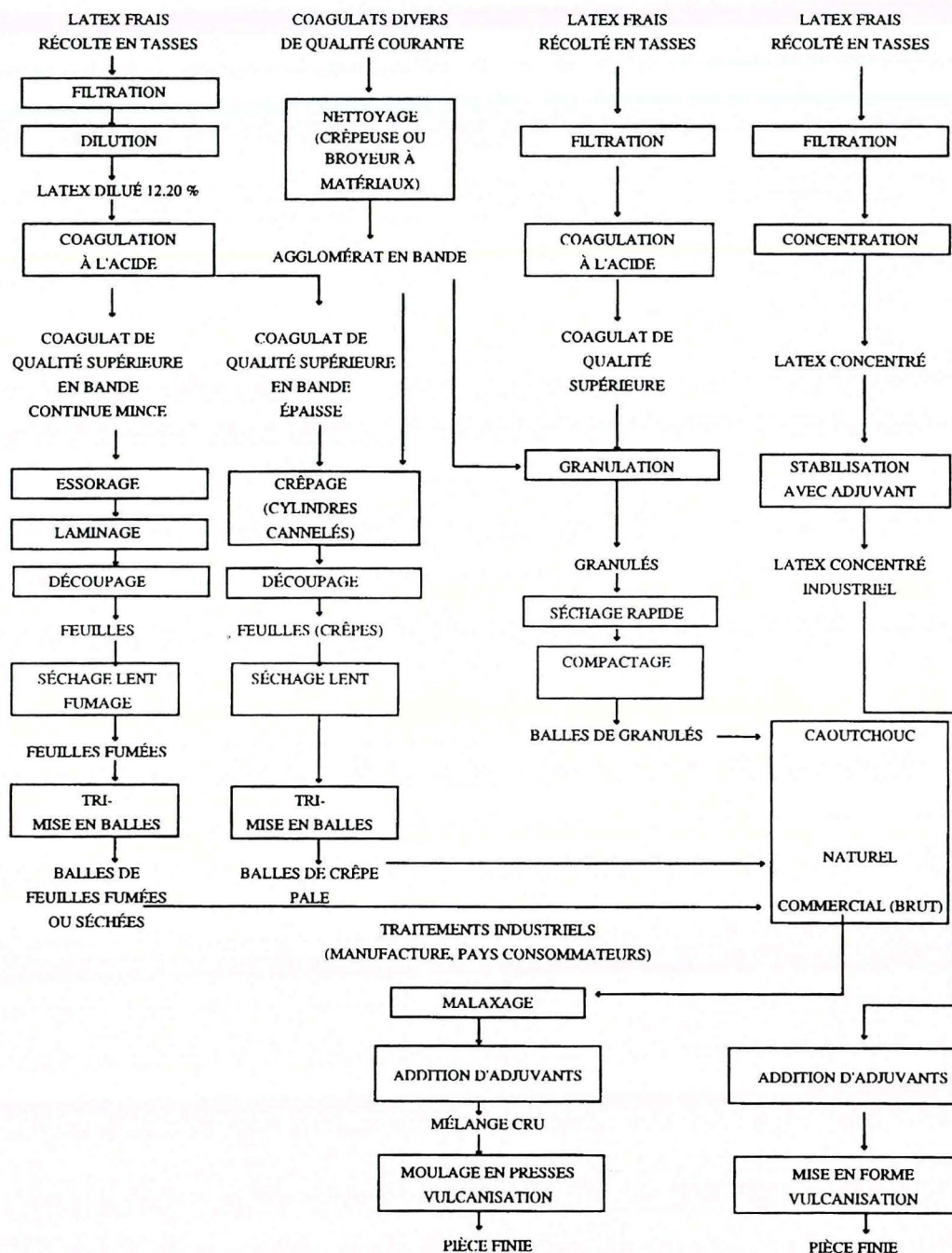


Figure 3 : Représentation schématique des opérations d'usinage conduisant aux divers types de caoutchouc commerciaux

Comme l'illustre la figure 3, le traitement du latex relève d'un grand nombre de procédés des plus traditionnels aux plus modernes. Tous ces procédés comprennent les trois phases suivantes :

- traitement chimique et/ou mélangeage
- traitement mécanique et nettoyage
- traitement thermique

Les deux premières phases font appel à des traitements mécaniques et donc à la force motrice (directe ou électricité). Le séchage pratiqué selon les procédés à des températures allant de 50 à 120-130°C fait appel au bois dans la plupart des procédés de types artisanaux. Le bois est peu utilisé pour le séchage industriel (combustion directe ou filière chaudière), par contre de nombreux séchoirs industriels à fuel se sont développés.

La demande en force motrice varie beaucoup selon le mode d'usinage utilisé :

100 à 200 kWh/tonne pour le traitement du latex frais,
250 à 400 kWh/tonne pour l'usinage des coagulats en plantations.

L'énergie électrique est fournie, soit à partir du réseau national, soit à partir de groupes électrogènes si la plantation est isolée, ce qui est encore le cas le plus fréquent. Les calories nécessaires au séchage peuvent être apportées de diverses manières :

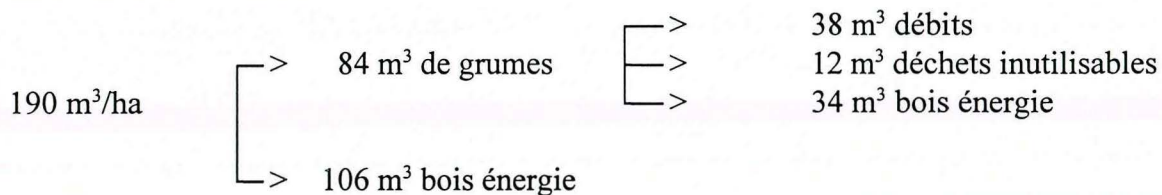
- par combustion du bois, soit dans un foyer avec récupération des fumées pour le séchage des feuilles (2 à 3 stères de bois sec sont nécessaires par tonne de caoutchouc séché), soit plus rarement dans une chaudière produisant par exemple de la vapeur destinée aux aérothermes des séchoirs (1,5 à 2 tonnes de vapeur doivent être produites par tonne de caoutchouc séché sous forme de feuilles, et 1 à 1,5 tonne de vapeur par tonne pour le caoutchouc granulé),
- par combustion du fuel, soit en flamme directe (l'air chaud produit étant alors envoyé directement sur le caoutchouc), soit pour l'alimentation d'échangeur air-air, ou enfin plus rarement pour la production de vapeur par l'intermédiaire d'une chaudière.

Les consommations du fuel sont de l'ordre de 130 à 170 litres/tonne de caoutchouc sec dans le cas des feuilles, et de 40 à 70 litres à la tonne de caoutchouc sec dans le cas des granulés.

5.2 - LES SOLUTIONS TECHNIQUES ADAPTEES

Le traitement du caoutchouc ne génère pas de sous-produits à vocation énergétique. Par contre, la filière génère de fortes quantités de bois résultant du renouvellement des plantations tous les 30 à 35 ans. Sur les grandes plantations, les accidents dus aux vents et aux maladies fournissent aussi des quantités de bois non négligeables. Un hectare de plantations d'Hévéa porte au moment de son renouvellement quelques 190 m³ de bois en moyenne (110 t de matière sèche).

Sur la base de l'hypothèse de valorisation ci-dessus, 140 m³ (\approx 80 t de matière sèche) sont disponibles pour la production d'énergie.



Le bois disponible est à proximité des unités industrielles en général situées au sein des plantations qui les approvisionnent. Disponible de manière planifiable, de qualité homogène, économiquement accessible, le bois d'hévéa peut et doit voir augmenter sa contribution à l'alimentation en énergie industrielle : c'est à dire à la substitution des produits pétroliers pour la production de la chaleur mais aussi de la force motrice nécessaire au traitement industriel du caoutchouc et à sa propre transformation en bois d'oeuvre.

Les équipements adaptés à la scierie sont aussi utilisables mais dans des conditions plus spécifiques, compte tenu des besoins en chaleur qui sont relativement important par rapport à l'électricité.

6 - LES HUILLERIES DE PALME

6.1 - CARACTERISTIQUES GENERALES

Le process de traitement de graines de palme est exigeant en énergie tant sous forme de vapeur que de force motrice. La caractéristique la plus marquante correspond au fait que les huilleries de palme satisfont depuis toujours leurs besoins en énergie par une valorisation de leurs sous-produits, qu'elles sont autonomes et souvent excédentaires en énergie. La pulpe et l'amande du fruit du palmier à huile contiennent de l'huile respectivement de l'huile de palme et l'huile de palmiste.

La figure 4 ci-après présente le schéma de principe du procédé d'utilisation de l'huile.

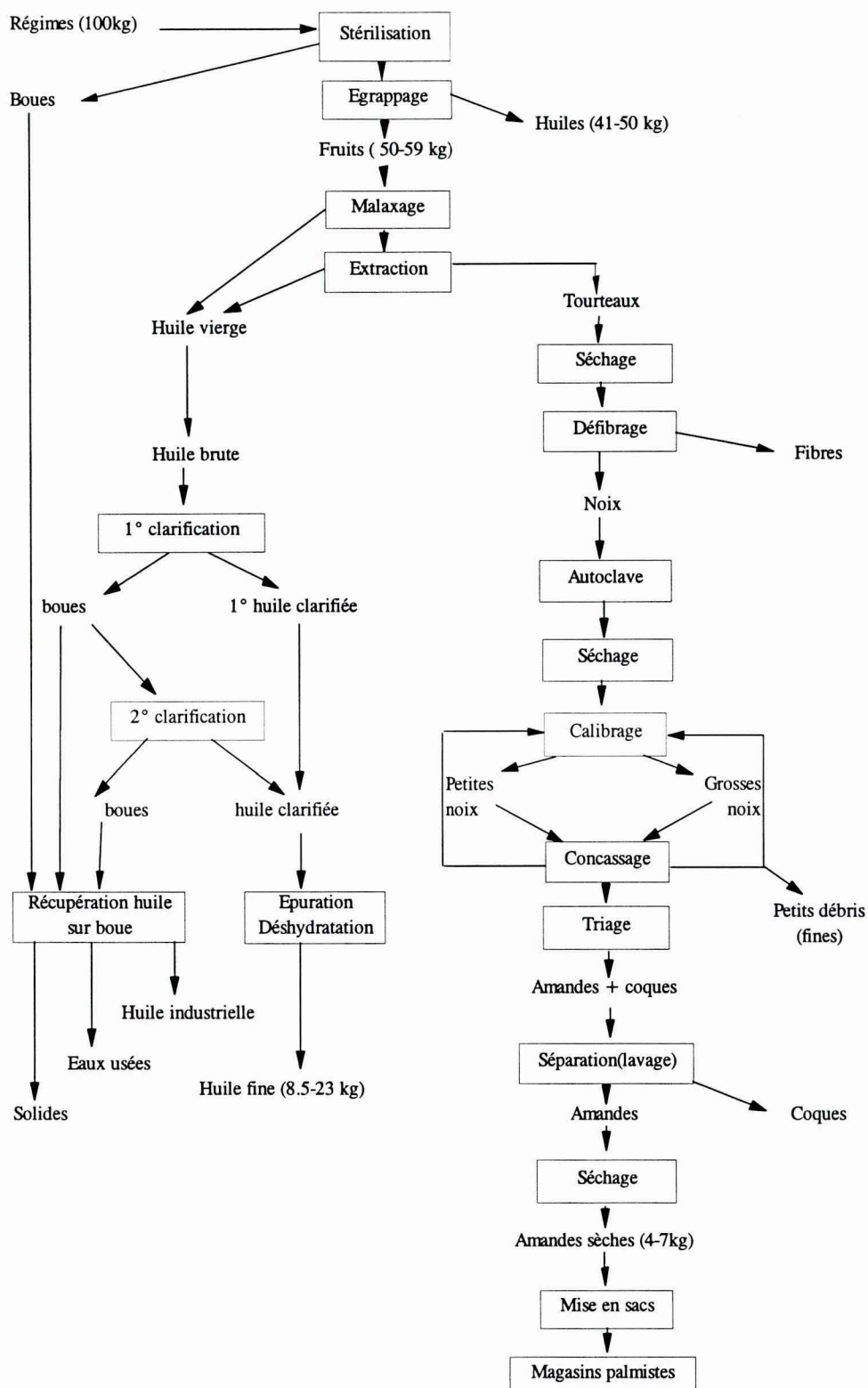


Figure 4 : Opération d'usinage en huilerie de palme

On retrouve au niveau de l'unité industrielle du secteur de l'huilerie de palmes une situation assez comparable à celle de la sucrerie avec toutefois un besoin plus important en combustible du fait d'un fonctionnement généralement discontinu de l'unité (1 voire 2 postes). En effet, une part significative de la biomasse disponible, notamment les coques de palmiste, sont utilisées pour le redémarrage et la montée en pression de l'installation.

La vapeur produite est turbinée pour la production d'électricité nécessaire au complexe industriel. La vapeur de contre-pression (1,5 bars) est utilisée principalement pour la stérilisation des rafles. La stérilisation fonctionnant en discontinu, l'absence d'optimisation à son niveau peut affecter considérablement le fonctionnement et l'équilibre énergétique de l'usine. Cependant, les possibilités de réduction de la consommation spécifique de vapeur sont moindres, comparativement à la sucrerie. L'introduction de technologie biomasse plus performante au niveau de la conversion, en cas de demande solvable pour l'excès d'électricité, devrait permettre des gains substantiels. La consommation spécifique d'une unité type est de 600 kg de vapeur par tonne de fruits et de 15 à 20 kWh. Une optimisation de l'ensemble devrait permettre d'atteindre les chiffres de 500 kg de vapeur et 15 kWh/t de rafles.

Les rendements à l'usinage sont pour 100 kg de régime : 21 à 23 kg d'huile de palme et 2 kg d'huile de palmiste environ.

Les résidus utilisables sont répartis tout au long de la chaîne de récolte et de production. Dans les plantations, les feuilles sont abandonnées sur place et les fûts résultant du renouvellement des plantations sont détruits par brûlage. Ces produits ne sont pas valorisés au plan énergétique.

En ce qui concerne les régimes livrés à l'usine :

- les rafles sont rarement utilisées : trop de sable avec risque de formation de machefer dans les chaudières et un taux d'humidité très élevé qui ne permet pas une bonne combustion, du moins avec les installations classiques,
- l'énergie utilisée provient du reste du régime, comme illustré dans le tableau ci-dessous.

	Masse humide kg/t de régime	PCI kWh/kg	Total kWh/t régimes
Fibres	120 à 220	3,50	472 à 770
Coques	50 à 90	5,00	250 à 450

En outre, le process est à l'origine de volume important d'effluents liquides (2,5 m³ par tonne d'huile) qui peuvent être valorisés par fermentation méthanique.

6.2 - LES SOLUTIONS TECHNIQUES ADAPTEES

Les huileries de palme sont largement auto-suffisantes en énergie grâce aux fibres et aux coques produites. Les besoins d'une unité type d'une capacité de 20 t de palme/h sont les suivantes :

- chaleur sous forme de vapeur = 660 kg à 3 bars/t rafles
- électricité = 15 à 20 kWh/t de rafles

Les unités fonctionnent en moyenne 4 000 à 5 000 h bien que ces chiffres soient très variables en fonction des situations géographiques.

Les besoins électriques par poste pour cette chaudière type sont donnés dans le tableau 7.

Poste	Puissance appelée
Décorticage palmiste	140
Chaudière	58
Presse	90
Clarificateur	50
Stérilisateur	5
Transfert	25
Traitement des effluents	25
Incinérateur	3
Traitement d'eau	7
Services divers	30
Total	430

Tableau 7 : Besoins électriques types pour une huilerie de 20 t/h

Le tableau 8 présente les caractéristiques principales de la centrale énergétique d'une telle unité.

	Caractéristiques
. Capacité nominale de l'huilerie	20 t/j
. Déchets disponibles	
fibres	2,4 à 4,5 t
coques	1,0 à 1,8 t
. Capacité installée et caractéristiques	
2 chaudières tube d'eau	25 t/h 20 bars
2 groupes turbo-alternateur	600 kVA contre pression 3 bars
1 groupe diesel	600 kVA

Tableau 8 : Equipement énergétique caractéristique d'une huilerie de palme de 20 t/h de capacité